

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) Veröffentlichungsnummer: **0 552 616 A1**

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 93100209.1

(51) Int. Cl. 5: **B23K 26/04**

(22) Anmeldetag: 08.01.93

P16

(30) Priorität: 13.01.92 DE 4200632

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
28.07.93 Bulletin 93/30

(84) Benannte Vertragsstaaten:
CH DE ES FR GB IT LI

(71) Anmelder: MAHO Aktiengesellschaft
Postfach 1280 Tiroier Strasse 85
W-8962 Pfronten(DE)

(72) Erfinder: Kuhl, Michael
Welfenstrasse 126

W-8958 Füssen(DE)

Erfinder: Zwick, Alfred

Aggensteinweg 1a

W-8951 Görlsried(DE)

Erfinder: Eberl, Günter, Dr.

Trollblumenweg 16

W-8961 Betzigau(DE)

(74) Vertreter: Patentanwälte Beetz - Timpe -
Siegfried - Schmitt-Fumlan- Mayr
Steinsdorfstrasse 10
W-8000 München 22 (DE)

(54) Verfahren und Vorrichtung zum Bearbeiten von Werkstücken mittels der von einem Laser emittierten Laserstrahlung.

(57) Gegenstand der Erfindung ist ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Bearbeiten von Werkstücken mittels der von einem Laser (30) emittierten Laserstrahlung, bei dem die von einer Bearbeitungsstelle (40) des Werkstücks (41) kommende Strahlung erfaßt und zu Signalen verarbeitet wird und bei dem der Bearbeitungsprozeß durch mindestens eine auf der Grundlage dieser Signale erhaltene Stellgröße geregelt wird. In aufeinanderfolgenden Verfahrens-

schritten wird ein Ist-Abstand (A_{ist}) zwischen einem Bezugspunkt (44) und der Oberfläche (45) der Bearbeitungsstelle (40) ermittelt, eine Soll-/Istwertabweichung (ΔA_i) zwischen einem vorgegebenen Soll-Abstand (A_{soll}) und dem erfaßten Ist-Abstand (A_{ist}) bestimmt und zumindest eine Stellgröße von der Steuereinheit (10) entsprechend der Soll-/Istwertabweichung (ΔA_i) erzeugt, welche zumindest ein Stellglied steuert.

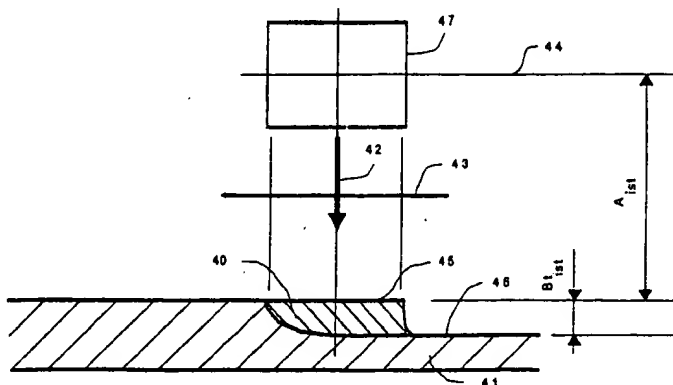


Fig. 2

EP 0 552 616 A1

sung durch Zeitkonstanten geändert werden. Eine Zeitkonstante ist hierbei z.B. die Zeitdauer zwischen der ansteigenden Flanke eines an die Laseranregungseinheit ausgegebenen Steuerpulses und dem Einsetzen des Laserpulses und damit der Laserstrahlung. Dadurch wird eine hohe zeitliche Reproduzierbarkeit der Laserpulse erreicht, wodurch die jeweilige Stellgröße sehr genau gesteuert werden kann. In vorteilhafter Weise können dadurch sehr feine Materialschichten reproduzierbar und mit konstanter Dicke abgetragen werden.

Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, daß zusätzlich zur Ermittlung des Ist-Abstandes und der Bestimmung der Soll-/Istwertabweichung eine Bearbeitungstiefe ermittelt wird, die dem Abstand zwischen der Oberfläche der Wechselwirkungszone und einer Bodenlinie entspricht, eine Bearbeitungstiefenabweichung aus der Bearbeitungstiefe und der Soll-/Istwertabweichung ermittelt wird und zumindest eine Stellgröße entsprechend der Bearbeitungstiefenabweichung ermittelt wird.

Durch die Kombination der Erfassung des Abstandes von einem Bezugspunkt zu der Oberfläche der Bearbeitungsstelle und der Tiefe der Bearbeitungsstelle (Wechselwirkungszone) kann die reale Bearbeitungstiefe für jede Abtragsschicht am Material während des Abtrags der Schicht bestimmt werden. Dadurch enthält die Regelgröße einen realen Prozeßparameter, der die umgewandelte, aufgeschmolzene und verbrannte Werkstoffmenge an der Bearbeitungsstelle berücksichtigt.

Obige Regelverfahren können sowohl für CO₂-Laser als auch für Nd:YAG-Laser (CW-Laser) angewandt werden. Weiterhin kann die Regelung die Regelabweichung derart verarbeiten, daß nur dann Laserpulse generiert werden, wenn die Solltiefe noch nicht erreicht ist.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung kann als Stellgröße die Strahlungsleistung des Lasers über die Steuereinheit eingestellt werden. Dazu können an die Laseranregungseinheit amplituden-, pulsweiten- und/oder frequenzmodulierte Steuerpulse ausgegeben werden. Weiterhin kann als Stellgröße die Relativgeschwindigkeit zwischen dem Werkstück und dem Laserstrahl über die Ausgabe von geschwindigkeitsmodulierten Steuerpulsen an z.B. eine Vorschubeinheit variiert werden.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung kann die relative Vorschubgeschwindigkeit des Laserstrahls erfaßt werden und die Laserleistung entsprechend dem erfaßten Meßwert zusätzlich gesteuert werden. Die entsprechende Laserleistung kann aus z. B. zwei 2-dimensionalen Matrizen ausgelesen werden, wobei eine Matrix eine erfaßte Bearbeitungstiefenabweichung und/oder Soll-/Istwertabweichung des Abstands-

meßwertes in einer Dimension und die Strahlungsleistung in der anderen Dimension enthält. Die andere Matrix enthält z. B. die relative Vorschubgeschwindigkeit und die Laserleistung. Die Laserleistung kann z. B. durch einen amplitudenmodulierten Steuerpuls geändert werden. Diese beiden Matrizen können multipliziert und/oder gefaltet werden, um die gewünschte Laserleistung zu erhalten. Obige Maßnahmen sind insbesondere für die Endbereiche eines mäanderförmigen Werkstoffabtrags von Vorteil.

Darüber hinaus kann der Bearbeitungsprozeß auch über weitere Stellglieder gesteuert werden. Dazu zählt z.B. eine adaptive Optik, die etwa über piezoelektrische Elemente einstellbar ist, wodurch der Laserstrahl beispielsweise gezielt defocussiert werden kann, mit einer Beeinflussung der Strahlungsleistung des Lasers. Weiterhin kann z.B. die O₂-Zufuhr und/oder die Intensität der Laserstrahlung gesteuert werden. Z.B. bei der Verwendung eines Nd:YAG-Lasers kann als Stellglied auch ein Shutter eingesetzt werden, der den Strahlengang des Laserstrahls gezielt unterbricht. Ein derartiger Shutter kann z.B. auf einem mechanischen, elektro- oder magnetooptischen Prinzip basieren (Kerr-Effekt, LC- Shutter, usw.)

Weiterhin können auch z.B. zwei oder mehrere Stellgrößen zur Prozeßregelung verwendet werden. Bei einer 2-Größenregelung können z.B. ein Geschwindigkeits- und ein Strahlungsleistungsmodulationssignal als Stellgrößen zur Prozeßregelung eingesetzt werden. Diese Stellgrößen können z.B. in vorteilhafter Weise in einem Multiprozessorsystem in einer Echtzeit-Parallelverarbeitung ermittelt werden. Dadurch kann die Rechenzeit zur Ermittlung der Stellgrößen stark reduziert werden, wodurch die Ansprechzeiten der Prozeßgrößen sowie die Regelgenauigkeit verbessert werden können.

Erfindungsgemäß kann weiterhin die Bearbeitungstiefe durch einen Strahlungssensor erfaßt werden, der die von der Wechselwirkungszone emittierte Wärmestrahlung und damit einen Wert, der mit dem Volumen der Wechselwirkungszone in Verbindung gebracht werden kann, ermittelt. Dadurch kann, etwa durch die Auswertung der Intensitäten verschiedener Wellenlängen, eine Bearbeitungstiefe erhalten werden. Der Strahlungssensor liefert ein Signal für die Ist-Abtragsmenge der Bearbeitung. Durch die Kombination der Messung der absoluten Tiefe (Bearbeitungstiefe) der Bearbeitungsstelle und dem relativen Abstandssignal können während der Bearbeitung in einer Abtragsschicht Einflüsse wie Änderungen der Bearbeitungstemperatur, Änderung der Strömungsverhältnisse, Änderung der Materialzusammensetzungen, usw., erfaßt werden. Zudem wird eine sehr genaue Steuerung der Laserleistung möglich.

Steuerpuls ein Vorimpuls aufgeschaltet wird. Dieser Vorimpuls, dessen Fläche nicht von den Regelgrößen beeinflusst wird, besitzt eine im Vergleich zu den Steuerpulsen überhöhte Amplitude und eine im Vergleich zu den Steuerpulsen geringere Pulsweite. Das Einsetzen des Vorimpulses ist so gesteuert, daß sich die ansteigende Flanke des Vorimpulses mit der ansteigenden Flanke des Steuerpulses deckt. Zudem wird durch den Vorimpuls auch die Ansprechzeit, d.h. die Zeitkonstante zwischen dem Steuerpuls und dem dazugehörigen Laserpuls, verringert. Bei 10 kHz-Laserpulsen eines CO₂-Lasers können mit Vorimpuls Ansprechzeiten von z.B. 3 µs und einem Jitter von z.B. ± 1 µs erhalten werden. Durch die Anwendung des Vorimpulses wird in vorteilhafter Weise die mögliche Änderung der Pulsfrequenz bzw. der Pulspausen zwischen aufeinanderfolgenden Laserpulsen zur Änderung der Stellgröße Laserleistung vergrößert, ohne das Ansprechen der Laserpulse auf die Steuerpulse so stark zu ändern, daß der gewünschte reproduzierbare Feinabtrag nicht mehr gewährleistet ist. Diese Pulsfrequenzänderung bei Aufschaltung eines Vorimpulses liegt vorzugsweise bei z.B. ca. 10 ± 2 kHz für einen gepulsten CO₂-Laser.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird die benötigte Einschaltzeit des Lasers verringert und zeitdiskreter realisiert. Dazu wird der Laser durch Sintern unterhalb der Laserschwelle durch Glimmentladungen etwa auf Betriebstemperatur gehalten, die für ein Arbeiten des Lasers erforderlich ist. Die durch das Sintern eingebrachte Energie liegt knapp unterhalb der Energie, die nötig wäre, den Laser über die Laserschwelle zu heben. Dies ist besonders vorteilhaft, wenn zur Herstellung besonderer Konturen im Werkstück das Material nur bereichsweise abgetragen wird. Hierbei wird das Werkstück oder der Laserkopf kontinuierlich während eines Arbeitsgangs bewegt und der Laser wird durch Sintern in einem angeregten Zustand gehalten, wenn bestimmte Werkstückbereiche überfahren werden, in denen keine Bearbeitung erfolgen soll. Während der Bearbeitung zwischen den einzelnen Laserpulsen wird ein Sintern nicht angewandt, da sich der Laser ohnehin in seinem Betriebszustand befindet. Durch Sintern wird gewährleistet, daß der erste Steuerpuls auch einen Laserpuls verursacht.

Die Aufgabe wird weiterhin durch eine Vorrichtung zum Bearbeiten von Werkstücken mittels der von einem Laser emittierten Laserstrahlung gelöst, die dadurch gekennzeichnet ist, daß die Meßeinrichtung einen Abstandssensor und die Steuereinheit gemäß Patentanspruch 3 ausgebildet ist.

In weiteren vorteilhaften Ausgestaltungen der Erfindung weist die Meßeinrichtung einen Strahlungssensor auf, mit dessen Signal eine Bearbeitungstiefe ermittelt wird.

Einer der wesentlichen Vorzüge der Erfindung liegt darin, daß die Eigendynamik des Lasers aus dem Regelkreis der Regelung ausgekoppelt werden kann und nicht in dem Übertragungsglied enthalten ist. Dadurch kann ein Ist-Laserpuls gemessen und der nächste Laserpuls oder folgende Laserpulse entsprechend geregelt werden (im Gegensatz zur Regelung des gemessenen Ist-Laserpulses). Weiterhin wird die Eigendynamik des Lasers durch eine sich nur in bestimmten Grenzen ändernde Pulsfrequenz und die Aufschaltung eines Vorimpulses auf den Steuerpuls annähernd konstant gehalten. Darüber hinaus kann die Ansprechzeit zwischen einem Steuerpuls und dem dazugehörigen Laserpuls durch Sintern und Aufschaltung eines Vorimpulses verringert werden. Dadurch verstreicht zwischen einer Laseranregung und einer Emission von Laserlicht ein minimierter Zeitraum und die Schwankungsbreite des Einsetzens des Laserlichts (Jitter) wird verringert.

Weiterhin wird durch die Erfindung eine sehr hohe Puls- zu Puls-Stabilität durch die Verringerung der Streubreite der Laserpulse erreicht.

Ein weiterer wesentlicher Vorzug der Erfindung liegt darin, daß eine dreidimensionale Ansteuerung des Lasers möglich wird. Durch die Ermittlung des Abstands zwischen einem Bezugspunkt und der Oberfläche der Bearbeitungsstelle kann die Laserstrahlung zu einem in einer Ebene liegenden geometrisch genau definierten Ort gesteuert werden. Durch Hinzunahme der Erfassung der Bearbeitungstiefe als Regelgröße geht auch die "Einwirktiefe" der Laserstrahlung in die Regelung ein. Damit ist eine außerordentlich genaue Ansteuerung des Lasers möglich, die für den Feinabtrag von Material von Vorteil ist.

Weitere Vorzüge und Besonderheiten der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnungen. Es zeigen:

- Fig. 1 ein schematisches Blockschaltbild einer Laserabtragsvorrichtung;
- Fig. 2 eine schematische Darstellung der Bearbeitungsstelle;
- Fig. 3 ein Flußdiagramm zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens;
- Fig. 4 ein Flußdiagramm einer weiteren Ausführungsform zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens;
- Fig. 5 ein zeitliches Ablaufdiagramm mit Steuerpulsen und dazugehörigen Laserpulsen.

Das schematische Blockschaltbild gemäß Fig. 1 zeigt eine Steuereinheit 10 mit einer CPU (central processing unit) 11, einem Speicher 12 mit RAM (random access memory) und ROM (read only memory), einem Adreß- und Datenbus 13, einem D/A(digital/analog)-Wandler (A/D(analog/digital)-

Nach der Ermittlung der Soll-/Istwertabweichung ΔA_i werden die Steuerpulse $Pa_{w,p}$ in Abhängigkeit der Soll-/Istwertabweichung ΔA_i ermittelt (Schritte 110 - 119).

Die Steuerpulse $Pa_{w,p}$ weisen eine definierte Amplitude, Pulsweite und Pulspause auf. Die Pulsamplitudenanteile Pa , die Pulsweitenanteile Pw und die Pulspausenanteile Pp der Steuerpulse $Pa_{w,p}$ werden in diesem Ausführungsbeispiel getrennt ermittelt. Die Ermittlung kann aber auch zusammengefaßt werden, wobei eine Kenngröße ermittelt wird, die die Pulsamplitude, die Pulsweite und die Pulspause der Steuerpulse $Pa_{w,p}$ charakterisiert. Wird in Schritt 110 zu Schritt 112 verzweigt, so wird die Pulsweite des Steuerpulses $Pa_{w,p}$ nicht verändert, und es wird für den nächsten Steuerpuls $Pa_{w,p}$ der vorherige Wert der Pulsweite verwendet. Soll dagegen eine Pulsweitenmodulation vorgenommen werden, so wird zu Schritt 111 verzweigt. In Schritt 111 kann die nächste Pulsweite Pw_{i+1} als Funktion der Abstandsdifferenz ΔA_k - (Korrekturfaktor) und der Soll-/Istwertabweichung ΔA_i ermittelt werden. In den Schritten 113 - 115 wird ermittelt, ob die Pulsamplitude des Steuerpulses $Pa_{w,p}$ geändert werden soll. Ist dies der Fall, so wird zu Schritt 114 verzweigt, in dem die Pulsamplitude Pa_{i+1} für den nächsten Steuerpuls $Pa_{w,p}$ als eine Funktion der Abstandsdifferenz ΔA_k und der Soll-/Istwertabweichung ΔA_i ermittelt werden kann. Ist dies nicht der Fall, so wird für die nächste Pulsamplitude die vorherige Pulsamplitude übernommen (Schritt 115). Im Schritt 116 wird ermittelt, ob eine Pulspause und damit die Pulsrepetitionrate (Pulsfrequenz) moduliert werden soll, was in Schritt 117 durchgeführt wird, wobei in Schritt 118 der vorhergehende Wert für den nächsten Pulspausenanteil Pp_{i+1} gesetzt wird. In Schritt 119 werden dann die Anteile der Pulsamplitude, der Pulsweite und der Pulspause zu dem endgültigen Steuerpuls $Pa_{w,p}$ zusammengesetzt. In den Schritten 111, 114 und/oder 117 können die Pulsweiten-, die Pulsamplituden und die Pulspausenanteile der Steuerpulse $Pa_{w,p}$ auch aus Matrizen ermittelt werden. Diese Matrizen können vorgeschriebene Werte der Pulsweiten-, der Pulsamplituden- und der Pulspausenanteile der Steuerpulse $Pa_{w,p}$ in Abhängigkeit von mindestens der Soll-/Istwertabweichung ΔA_i enthalten. Zudem kann als weitere Dimension ein Korrekturfaktor, z.B. die Abstandsdifferenz ΔA_k für die Matrix verwendet werden. In den Schritten 111, 114 und/oder 117 wird jeweils der Absolutwert der Steuerpulsanteile ermittelt. Es können aber auch Inkremente oder Dekremente ermittelt werden, die dann jeweils zu vorhandenen Absolutwerten addiert bzw. subtrahiert werden. In Schritt 120 wird dann zu Schritt 100 verzweigt (nicht dargestellt) oder der Programmablauf wird abgebrochen.

Fig. 4 zeigt ein weiteres Flußdiagramm für eine andere Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens. Im folgenden wird auf Funktionsblöcke, die zu den unter Fig. 3 beschriebenen identisch sind, nicht mehr eingegangen. In einem Schritt 205 wird die Bearbeitungstiefe Bt_{ist} als eine Funktion des Signals Sm des Strahlungssensors 51 ermittelt. Die Bearbeitungstiefe Bt_{ist} kann auch aus einer Matrix ausgelesen werden. Daraufhin wird in Schritt 206 die Soll-/Istwertabweichung ΔA_i aus einer Differenz des Soll-Abstands A_{soll} und des Ist-Abstands A_{ist} ermittelt. In Schritt 207 wird dann aus einer Differenz der in Schritt 206 ermittelten Soll-/Istwertabweichung ΔA_i und der Bearbeitungstiefe Bt_{ist} eine Bearbeitungstiefenabweichung ΔBt_i ermittelt. In dem Fall, daß die Bearbeitungstiefenabweichung ΔBt_i einen Wert ungleich Null (oder größer als ein Grenzwert) annimmt, so ist eine Änderung der Strahlungsleistung des Lasers 30 nötig, da die Abtragschicht zu tief oder zu flach abgetragen wird. Wird jedoch die Bearbeitungstiefenabweichung ΔBt_i zu Null (oder kleiner als ein Grenzwert) ermittelt, so wird der Steuerpuls $Pa_{w,p}$ nicht geändert (Schritte 209, 210, 211). In einem Schritt 213 wird ein Pulsweiteninkrement oder -dekrement für den nächsten Puls ΔPw_{i+1} als Funktion der Bearbeitungstiefenabweichung ΔBt_i ermittelt. ΔPw_{i+1} kann auch aus einer Matrix ausgelesen werden. In einem Schritt 215 wird dann der Absolutwert des Pulsweitenanteils Pw_{i+1} für den nächsten Steuerpuls additiv aus dem Pulsweitenanteil des letzten Pulses und dem Inkrement oder Dekrement ermittelt. Anstatt der Ermittlung der Inkremente bzw. Dekremente (Schritte 213, 215) kann auch der Absolutwert des Pulsweitenanteils Pw_{i+1} ermittelt werden. Die Ermittlung kann durch eine Berechnung und/oder durch ein Auslesen aus einer Matrix erfolgen.

Die Schritte 216 bis 223 sind mit den Schritten 212 bis 215 nur dadurch unterschiedlich, daß in den Schritten 216 bis 219 die Pulsamplitudenanteile und in den Schritten 220 - 223 die Pulspausenanteile der Steuerpulse $Pa_{w,p}$ ermittelt werden, so daß das oben Beschriebene auch für diese Schritte gilt.

In einem Schritt 224 werden dann die Pulsamplituden-, die Pulsweiten- und die Pulspausenanteile zu dem Steuerpuls $Pa_{w,p}$ zusammengesetzt. In einem Schritt 225 wird anschließend zum Start (Schritt 200) (nicht dargestellt) verzweigt oder der Programmablauf wird abgebrochen.

Die Entscheidung, ob eine Pulsweitenmodulation, eine Pulsamplitudenmodulation und/oder eine Pulspausenmodulation (Schritte 111, 114, 117) vorgenommen werden sollen, kann durch den Bediener vorgenommen werden. Die Verzweigungsentscheidungen können auch über einen nicht dargestellten Unterprogrammablauf in Abhängigkeit von

- zusätzlich zur Ermittlung des Ist-Abstandes (A_{ist}) (Schritt 204) und der Bestimmung der Soll-/Istwertabweichung (ΔA_i) (Schritt 206) eine Bearbeitungstiefe (Bt_{ist}) (Schritt 205) ermittelt wird, die dem Abstand zwischen der Oberfläche (45) der Bearbeitungsstelle (40) und einer Bodenlinie (46) entspricht,
 - eine Bearbeitungstiefenabweichung (ΔBt_i) aus der Bearbeitungstiefe (Bt_{ist}) und der Soll-/Istwertabweichung (ΔA_i) ermittelt wird (Schritt 207) und
 - zumindest eine Stellgröße entsprechend der Bearbeitungstiefenabweichung (ΔBt_i) ermittelt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß als Stellgröße die Strahlungsleistung des Lasers (30) durch amplituden-, pulsweiten- und/oder frequenzmodulierten Steuerpulse (Pa, w, p), durch eine gezielte Defocussierung des Laserstrahls (42) und/oder durch einen Shutter geregelt wird und der Laser (30) den modulierten Steuerpulsen entsprechende Laserpulse (Lp) ausgibt.
 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß als Stellgröße die relative Vorschubgeschwindigkeit des Werkstücks (41) durch geschwindigkeitsmodulierte Steuerpulse (Pg) geregelt wird.
 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß parallel zur Regelung des Bearbeitungsprozesses die relative Vorschubgeschwindigkeit erfaßt wird und die Strahlungsleistung des Lasers zusätzlich entsprechend der erfaßten relativen Vorschubgeschwindigkeit eingestellt wird.
 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß am Anfang einer neuen Abtragschicht K der Soll-Abstand ($A_{soll\ k-1}$) der vorhergehenden Abtragschicht k-1 mit dem gemessenen Ist-Abstand ($A_{isk\ k}$) der jetzigen Abtragschicht verglichen wird, daß daraus eine Abstandsdifferenz (ΔA_k) ermittelt wird (Schritt 105 - 108) und daß die Steuerpulse (Pa, w, p) entsprechend der Abstandsdifferenz (ΔA_k) korrigiert werden (Schritte 111, 114, 117).
 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßsignale (Sa, Sm) während der Dauer eines Laserpulses (Lp_i) erfaßt werden und Steuerpulse (Pa, w, p) für mindestens einen diesem Laserpuls (Lp_i) unmittelbar nachfolgenden Laserpuls (Lp_{i+n}) ermittelt werden.
 8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die dem Ist-Abstand (A_{ist}) entsprechenden Signale (Sa) und/oder die der Bearbeitungstiefe (Bt_{ist}) entsprechenden Signale (Sm) über mehrere Laserpulse (Lp) erfaßt und anschließend gemittelt werden, und daß aus den gemittelten Signalen Steuerpulse für die nächstfolgende Laserpuls-Gruppe erzeugt werden.
 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß zu Beginn der Bearbeitung dem ersten Steuerpuls (Pa, w, p_1) eine Pulsweite, Pulsamplitude und Pulspause vorgegeben wird (Schritt 102).
 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuerpulse (Pa, w, p) des Oberflächenabstands aus einer Matrix mit mindestens der Soll-/Istwertabweichung (ΔA_i), der Bearbeitungstiefenabweichung (ΔBt_i) oder der Abstandsdifferenz (ΔA_k) als Dimensionen ausgelesen werden.
 11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß zur Minimierung der Ansprechzeit der Laserstrahlung jedem Steuerpuls (Pa, w, p) ein Vorimpuls (Pv) aufgeschaltet wird.
 12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Laser (30) durch Simmern in einem angeregten Zustand unterhalb der Laserschwelle gehalten wird, wenn der Laser (30) länger als einen vorbestimmten Zeitraum deaktiviert ist.
 13. Verfahren zum Bearbeiten von Werkstücken mittels der von einem Laser emittierten Laserstrahlung, bei dem das Werkstück (41) durch den Laserstrahl (42) linien- und schichtförmig in dicht nebeneinanderliegenden, aufeinanderfolgenden Schichten abgetragen wird, dadurch gekennzeichnet, daß am Anfang einer neuen Abtragschicht K der Soll-Abstand ($A_{soll\ k-1}$) der vorhergehenden Abtragschicht k-1 mit einem gemessenen Ist-Abstand ($A_{ist\ k}$) der jetzigen Abtragschicht verglichen wird, daß daraus eine Abstandsdifferenz (ΔA_k) ermittelt wird (Schritt 105 - 108) und daß zumindest eine Stellgröße entsprechend der Abstandsdifferenz (ΔA_k) korrigiert wird (Schritte 111, 114, 117).
 14. Vorrichtung zum Bearbeiten von Werkstücken mittels der von einem Laser (30) emittierten

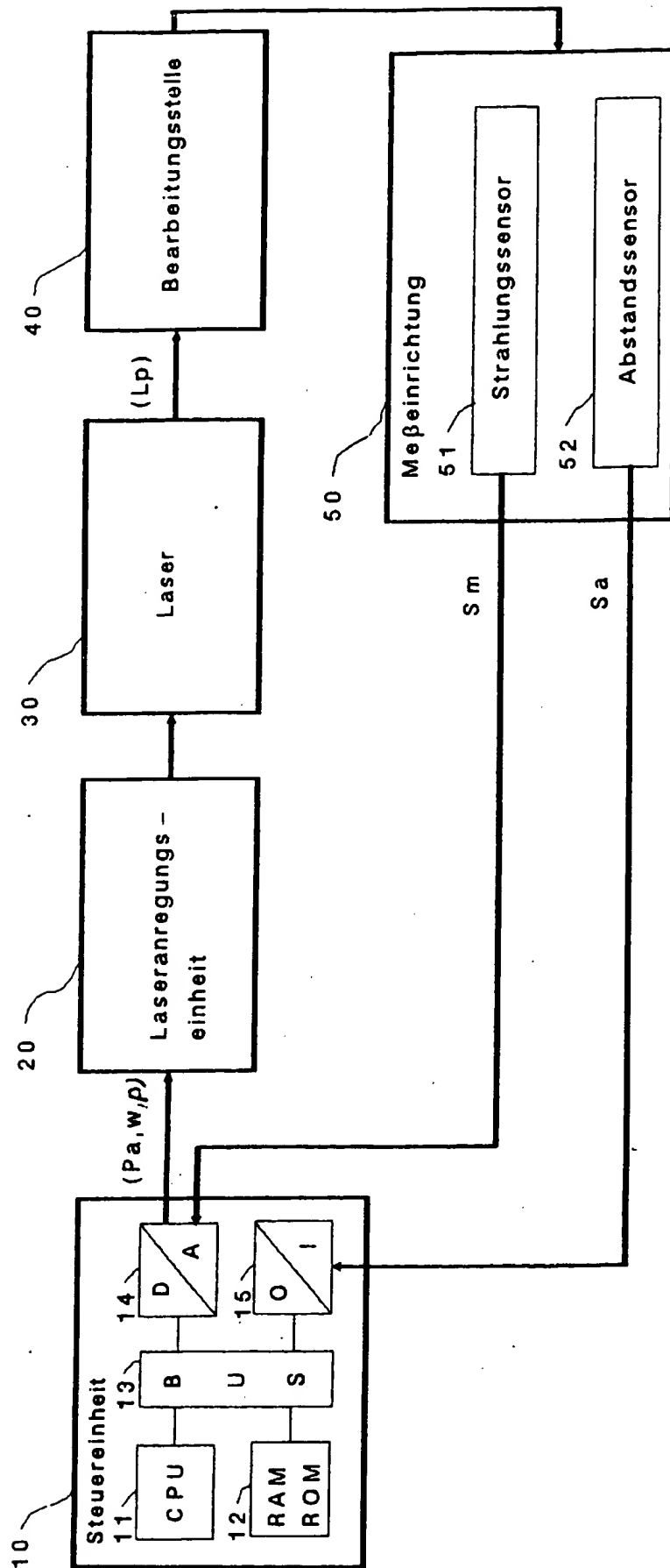


Fig. 1

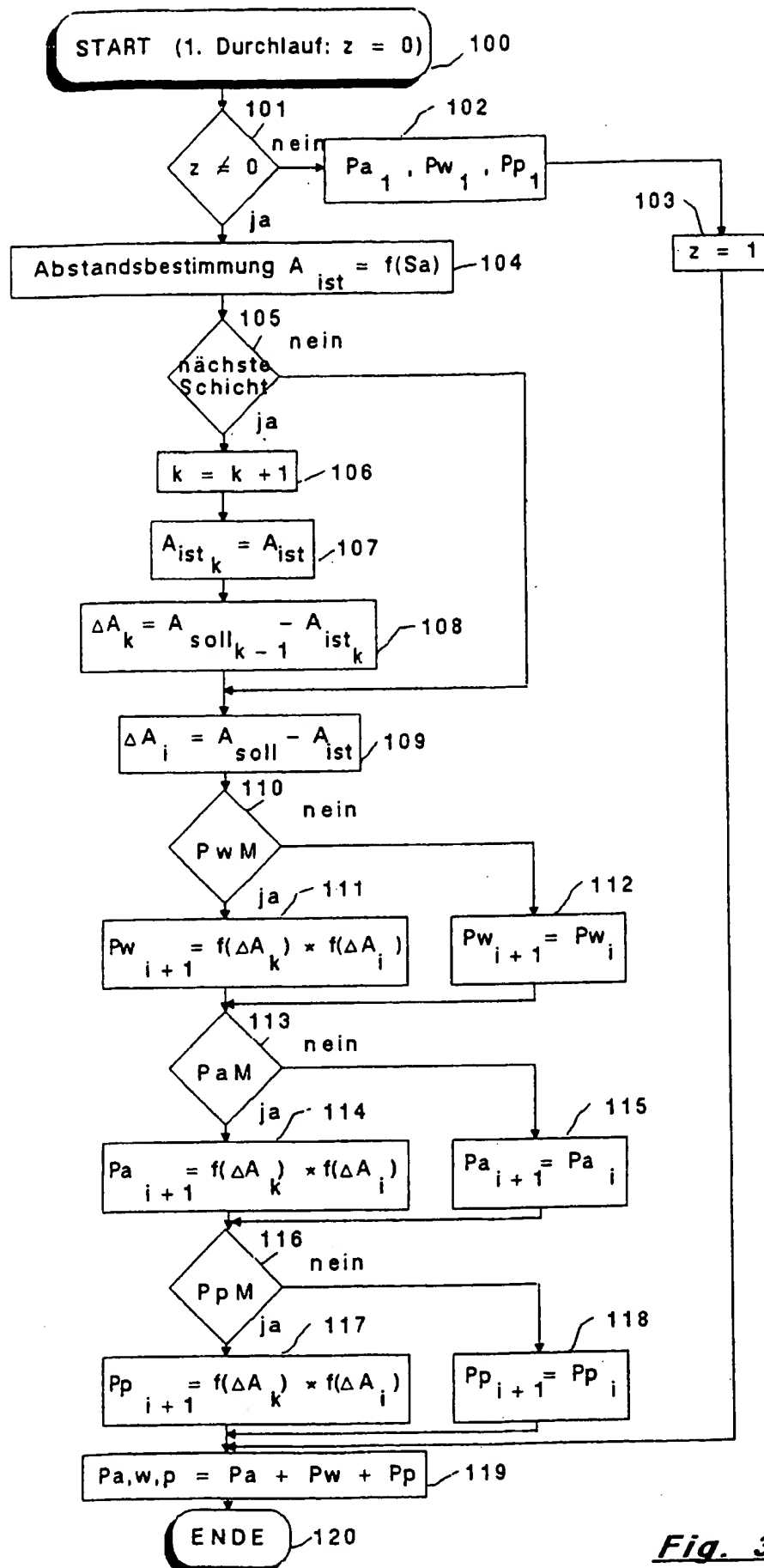


Fig. 3

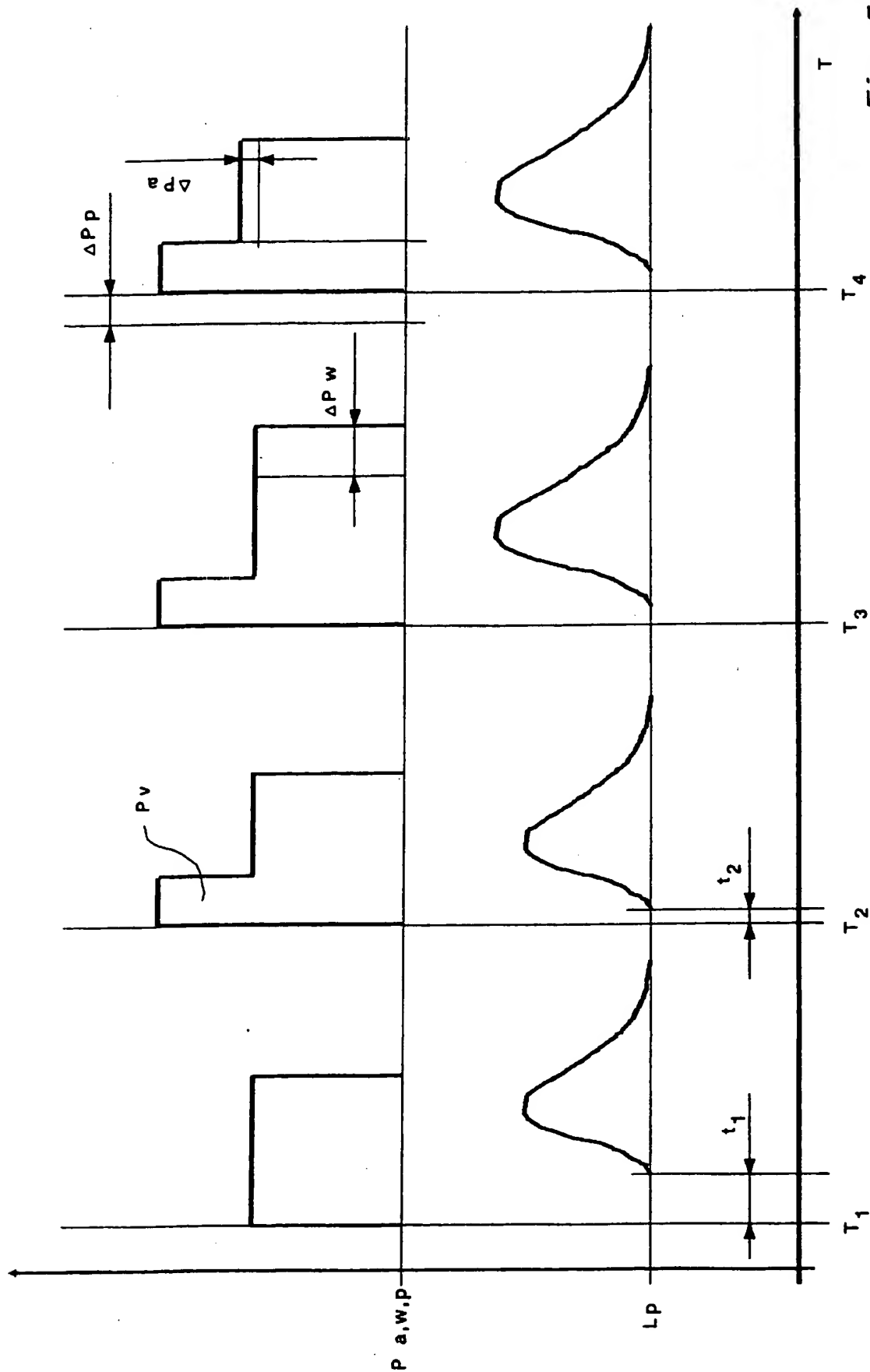


Fig. 5



EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.5)
A	SPRECHSAAL Bd. 123, Nr. 2, Februar 1990, COBURG Seiten 151 - 154 , XP126206 'Das MAHO LASERCAVING- ungeahnte Dimensionen im Formenbau' * Seite 151, linke Spalte, Zeile 1 - Seite 153, linke Spalte, Zeile 30 *	1-6,13, 14	
D,A	DE-A-3 424 825 (G. HERZIGER) * Ansprüche 1-8 *	1	
D,A	DE-C-3 926 859 (FRAUNHOFER- GESELLSCHAFT) * Ansprüche 1-11 *	1	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl.5)
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenart BERLIN	Abschlußdatum der Recherche 26 APRIL 1993	Prüfer WUNDERLICH J.	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur	

EPO FORM 1503 (04.92) (P.0400)